

漂砂源の枯渇と護岸の前出しによって脆弱化した海浜の異常波浪による急激な侵食

RAPID BEACH EROSION CAUSED BY EXTRAORDINARY WAVES ON COAST WITH EXHAUSTED SAND SOURCE AND ADVANCED SEAWALL

宇多高明¹・住谷廸夫²・長山英樹³・大木康弘⁴・熊田貴之⁵

Takaaki UDA, Michio SUMIYA, Hideki NAGAYAMA, Yasuhiro OKI and Takayuki KUMADA

¹正会員 工博(財)土木研究センター理事なごさ総合研究室長兼日本大学客員教授理工学部
海洋建築工学科(〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4 タカラビル)

²(財)土木研究センター専門調査役(〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4 タカラビル)

³修(工)(財)土木研究センター研究開発一部(同上)

⁴(株)水圏科学コンサルタント(〒145-0064 東京都大田区上池台1-14-1 明伸ビル)

⁵正会員 博(工)(株)水圏科学コンサルタント(同上)

Beach erosion at Oarai Beach caused by extraordinary waves and large sea level rise during a low pressure occurred on October 7, 2006 was investigated. On this beach, the shoreline has retreated since 1984 due to decrease in sediment supply from the Naka River. Also seawall was advanced seaward to expand the parking lot for Oarai Aquarium. These events triggered heavy damages of seawall and formation of high scarp invading the coastal park. The anthropogenic factors were studied in detail.

Key Words : *Anthropogenic factors, beach erosion, coastal damages, shoreline changes*

1. はじめに

近年, 異常気象に伴い過去に経験のないような異常潮位・波浪がしばしば発生し, そのたびごとに海岸施設が被災する例が後を絶たない. 2006年10月6日から8日に低気圧が太平洋沿岸を異常に発達しつつ通過し, その際大洗海岸にある大洗水族館の駐車場を防護する護岸が大きく被災した. 護岸被災と侵食の直接的要因は, 異常な潮位の上昇と高波浪の襲来に起因するが, その原因を注意深く調べると人為によるいくつかの遠因(例えば, 河川土砂量の減少, 海浜地の埋め立て, 護岸の過剰な前出し, など)が重なっていることが見出される. Viles・Spencer¹⁾は, 海岸付近における様々な人為改変による影響を考察し, 人為的行為により漂砂の枯渇や沿岸漂砂の阻止がしばしば起こるとし, その結果として対策が対策を呼ぶ悪循環にはまり, 海岸管理者は永久的に保全を行わなければならない状況に至るとした. またそのことはまた近い将来起こる海面上昇に対して問題の深刻化を招くとした. これらの指摘は至極当然であるが, 現実の例を調べると海岸が現在の姿に至るまでに様々な変遷を受けており, そのいずれをとってもtrade-offとなる事態の累積によって現在の姿に至っている. 従って海岸災害の防除から見る

と根本的意味から問題を解決することが困難な困惑すべき事態に至る. Viles・Spencerの見解は確かに正しいが, 実際にはそれと逆方向に物事が進んでいくのである. その際, これらの根本的問題についての検討を避け, 当面の災害復旧によって問題解決を図るという手法をとれば, 再び襲来する異常波浪で再度災害を受けるか, あるいはその場所は保全されたとしても侵食域が下手側へと広がり再び新たな問題が起こる. この結果人工海岸の広がりを招くこととなる. このことから, ここではこのような問題について表層的な捉え方ではなく, 本質的意味から考え, 将来への合理的対処法について考察する.

2. 大洗水族館周辺の被災状況

大洗水族館は, 図-1に示すように, 那珂川河口と大洗港の間に延びた延長約2.9kmの海岸線の北端部に位置し, 那珂川の右岸河口導流堤に隣接している. 大洗水族館とその南側の海岸では, 10月6日から8日に太平洋沿岸を異常に発達しつつ通過した低気圧により護岸が大きく被災するとともに著しい侵食が生じた. 以下では, まず侵食状況と護岸の被災状況について2006年10月19日に実施した現地踏査の結果を

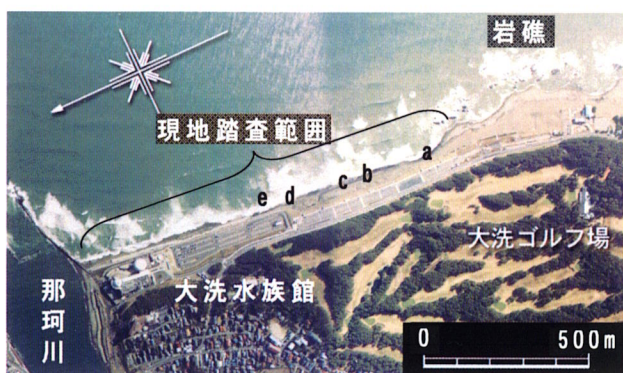


図-1 現地踏査範囲(2002年撮影)



図-5 排水口の被災状況(図-1のb)



図-2 大洗水族館から南側を望む



図-3 大洗の公園下の浜崖(図-1のa)



図-4 最も高い浜崖が形成された場所の拡大写真

もとに明らかにする。図-1には以下で示す現地踏査での主な写真撮影位置をa～eで示す。

図-2は大洗水族館から南側を望んだ写真で、遠方に見える岩礁は大洗ゴルフ場の沖にある岩礁である。水族館の駐車場は海側へ突き出ているが、その南側側面が著しく侵食された。公園の駐車場から水族館へと繋がる遊歩道が完全に崩壊していることが見てとれる。現地踏査では図-1に示す岩礁の隣接部から北側へと行った。まず、前方の岩礁背後では高さ約1.5mの浜崖が形成されており、この浜崖は北向きに高さが次第に増加し、大洗の公園下では図-3に示す浜崖状況であった。ここでは平均でも2m、高い場所では約4mに及ぶ高い浜崖が形成され、公園から海浜へ降りることができなかった。浜崖侵食が進んだ場所では、その前面は緩い勾配となっており砂鉄分が表面に多く残されていた。図-4は最も高い浜崖が見られた場所の状況であり、のり面上部にあった植生が丸ごと滑り落ちていた。斜面基部には砂の安息勾配に近い勾配が見られるが、これは侵食が起きた日(10月7日)から現地踏査日(10月19日)まで12日間が経過したために、この間に斜面の安定化が進んだことによる。侵食当初は急斜面であったと推定できる。またこの写真では観測者の右側の地層に多数の層状模様が見える。これらの層状模様はその標高がかなり高い位置に形成され、水平な層であることから、遡上波ではなく飛砂が堆積した際形成されたものと考えられる。このことは過去には砂丘を造るほど潤沢な砂があったが、それが欠損状態になったことを意味している。

図-5は付近にある排水口の被災状況である。図-3に矢印で示す位置にある排水口の両側がひどく侵食され、根固め用の蛇籠が完全に露出した。排水口周辺の地盤高が約1.6m低下したため排水口が折れた。この排水口の北側でも図-6に示すように連続的な浜崖が形成され、その高さは約2.8mに達していた。図-7は図-6に矢印で示す第2の排水口周辺の侵食状況である。ここでは海浜地盤高が約2m低下したため排水口が高い位置に残されることになった。図-8は大洗水族館の駐車場を望む場所の侵食状況である。ここでは再び浜崖が高まり約5mとなる。この位置か



図-6 排水口の北側における浜崖形成状況



図-7 第2の排水口周辺の侵食状況(図-1のc: 図-6の矢印)



図-8 大洗水族館のすぐ南側の浜崖



図-9 大洗水族館の駐車場を取り囲む護岸の被災状況と露出した護岸の基礎(図-1のd)



図-10 倒壊・前傾した直立護岸



図-11 立護岸の被災箇所の北側の状況(図-1のe)



図-12 遊歩道の被災状況(詳細)

ら見ると大洗水族館の駐車場を取り巻く護岸が海側へ大きく突出していることが分かる。図-9は駐車場を取り囲む護岸の被災状況である。護岸の取り付け部が侵食され、地盤高が低下したため護岸が破壊された。また基礎の露出長さは約1mである。砂地盤上にあった直立護岸が地盤の低下とともに大きく崩れた。図-10は倒壊・前傾した直立護岸である。破壊された直立護岸が前傾し砂にめり込んでいる。またその手前では完全に倒壊している。図-11は直立護岸の被災箇所の北側の状況である。直立護岸は駐車場の端部を中心に破壊されていた。このため同じ直立護岸であっても被災箇所の北側の護岸はわずかな変位はあるものの倒壊を免れた。なお、護岸の基部

に並べられた捨石は災害後に急遽並べられたものである。直立護岸の北側には緩傾斜護岸があったが、この区域の緩傾斜護岸には全く被災が見られなかった。図-12は遊歩道の被災状況であるが、裏込め土砂が流出し地盤が大きく陥没したことが分かる。

3. 災害発生時の潮位波浪条件

図-13には鹿島港の北3kmに位置する神向寺海岸沖で実施されていた波浪観測結果と、常陸那珂港での波浪観測結果を示す。神向寺海岸沖では、10月7日6時に有義波高6.43m（有義波周期12.8s）の波浪が襲来している。一方、常陸那珂港では10月6日の23:50に有義波高7.47m（有義波周期11.3s）が観測された。また図-14には大洗港の潮位を示すが、実測潮位は10月6日の0時頃から予報潮位より上回り、最高潮位は10月7日3:10にT.P.+1.60mを記録した。このときの天文潮位からの偏差は0.91mに達した。その後も平均的に0.6m以上の潮位偏差の期間が10月7日17時

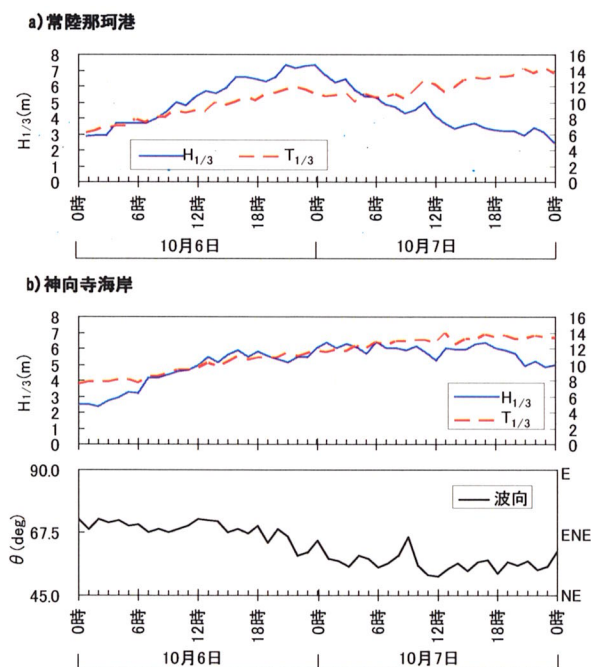


図-13 神向寺海岸沖と常陸那珂港での波浪観測結果

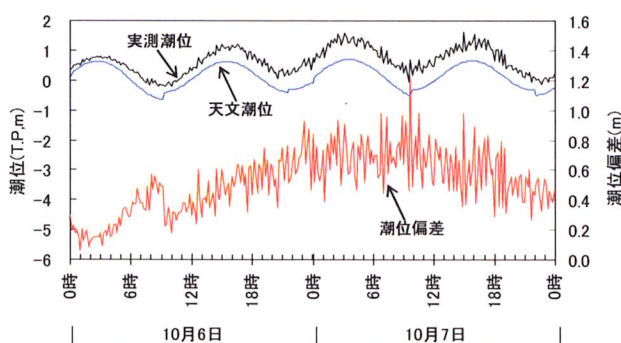


図-14 大洗港の潮位

頃まで継続した。この低気圧による異常潮位・異常波浪により茨城県内の各地の海岸で護岸の倒壊や著しい侵食被害が生じた。高波浪の作用自体は過去にも起きているが、今回は特に潮位が異常に上昇したことによって災害が助長されたことが特徴である。

4. 大洗水族館の立地する付近の地形変遷

(1) 陸軍迅速図にみる明治期の地形

現在大洗水族館が立地する付近の海岸は長期的に見るとかなり大きく変遷してきた。この点を調べるために、明治10年代に陸軍参謀本部が作成した地形図²⁾から対象区域を切り取って示すのが図-15である。当時、那珂川は北側に大きく蛇行して太平洋に注いでいた。河口には南側から約720mの河口砂州が伸びていた。注目されるのは、河口と岩礁の間に内陸で南西方向を向いた広大な砂丘地が発達していたことである。この砂丘はこの付近で冬季に卓越する北東風的作用によって海岸線から内陸へと多量の飛砂が運ばれて形成されたものである。現在大洗ゴルフ場が立地するのもこの付近である。

前節で述べたように、図-4,6において浜崖面に見られた多数の層状模様は、海岸からの飛砂の作用によって形成されたと推定されたが、図-15の古地図における内陸へと向いた砂丘の発達は、上記推定と調和的である。このような砂丘の発達は、過去に那珂川からの土砂供給がかなりあり、そのうちの細砂が風によって運ばれたことを示す。しかし、現地踏査に示した写真はそのいずれもがこのような細砂の供給条件が全く逆転したこと、すなわち細砂は過剰な供給状態から欠損状態へと変化したことを示し、那珂川からの細砂供給が枯渇しつつあることを強く示唆する。



図-15 明治10年代陸軍参謀本部作成の迅速図

(2) 空中写真による1964年以降の地形変遷

現大洗水族館が立地する付近では、1964、1984、1996、2002年に空中写真撮影が行われている。そこでこれらの空中写真の比較により、今回の著しい侵食が起きた箇所の長期的変遷について調べた。図-16(a)に示すように、1964年では那珂川河口の南に

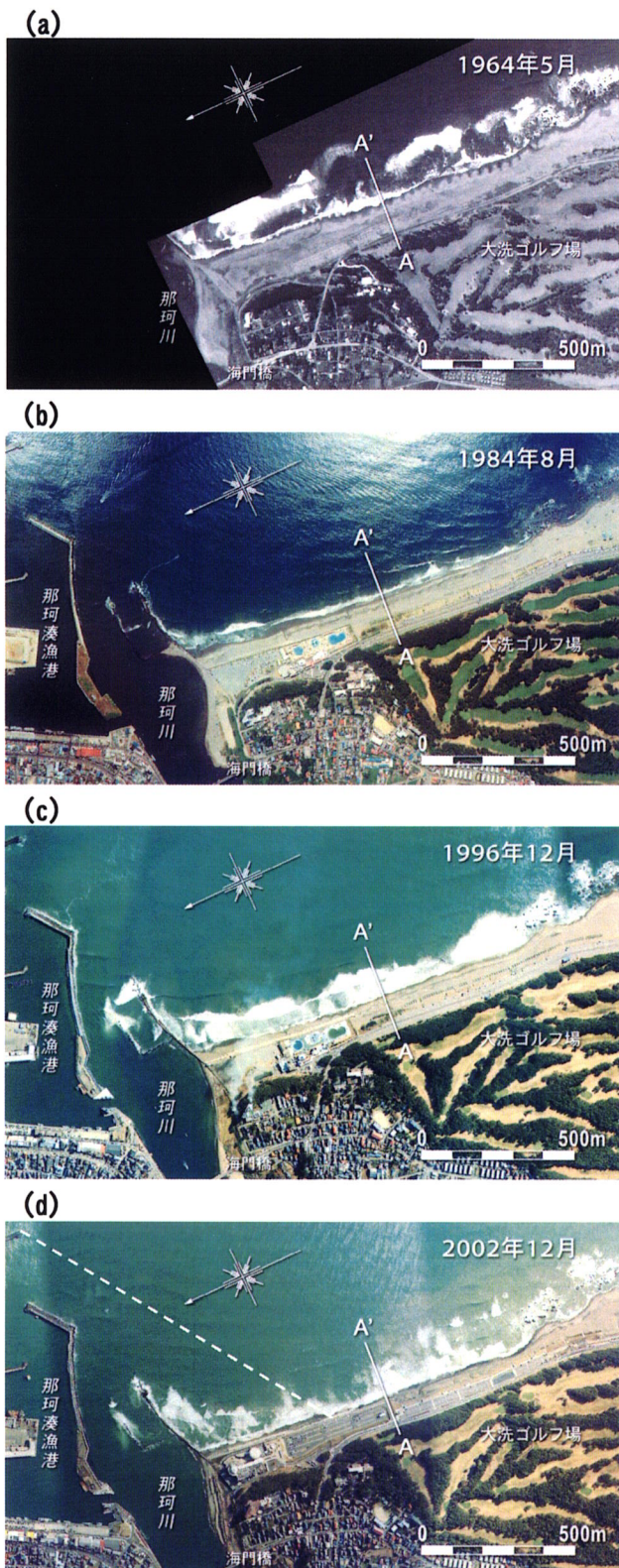


図-16 大洗周辺の空中写真 (a:1964年5月, b:1984年8月, c:1996年12月, d:2002年12月)

ある大洗ゴルフ場まで砂浜が続いていた。また那珂川河口内の砂州と導流堤外側の海浜とはほぼ連続しており、河口内に大量の砂が堆積していた。この区域に堆積している砂は北側に隣接する那珂川から供給されたもので、その砂が大洗岬を通過して鹿島灘海岸へと流入する条件下にあった。図にA-A'で示す測線は、後に建設される大洗水族館の駐車場の南端を区切る線であり、この当時砂浜幅は107mであった。1984年では、図-16(b)のように既に旧大洗水族館が建設されている。このとき同時に那珂川河口の右岸砂州の規模が小さくなった。また1964年との比較によれば、水族館は1964年当時砂浜であった場所に造られたことが明らかである。この時期におけるA-A'測線での砂浜幅は97mで1964年当時と比較して国道の海側に沿って細長い駐車場が建設されたためにやや狭まった。水族館はできたものの、海浜の全体状況は1964年当時と大きな変化が見られない。

1996年になると、図-16(c)のように、1984年と比較して水族館前面の海浜が全体に狭まり、同時に那珂川河口の右岸砂州はその規模が益々縮小した。これらは那珂川の流出土砂量が減少したためと推定される。このときのA-A'上の浜幅は91mで1984年よりも狭くなった。2002年になると、図-16(d)のように旧大洗水族館は取り壊され新しい施設が造られた。その場合、旧水族館の施設是那珂川の右岸河口導流堤から南に500mまでであったが、新たに駐車場の建設のため用地が導流堤から南620mまで拡げられた。その際、1996年当時砂浜であった場所に駐車場が前出して造られた。測線A-A'に沿う汀線および駐車場外縁位置の経時変化として示すのが図-17である。1986年までの変化は大きくなかったが、1996年以降駐車場が広げられ、同時に汀線が後退して前浜がほとんど消失した結果、今回のような災害が発生したことがよく分かる。

図-18には、那珂川河口から大洗港までの区域について、1964年の汀線を基準とした1984、1996、2002年までの汀線変化量を示す。那珂川河口から南約1.3km区間では1984年では場所的に前進後退を繰り返していたが、その後汀線は経年的に後退し、2002年までに平均で25m、岩礁域北端付近で最大45mの汀

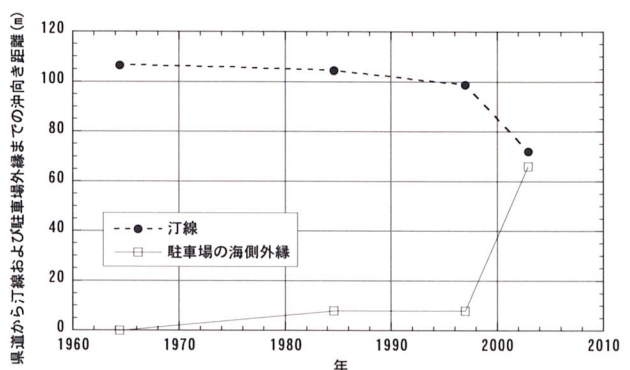


図-17 県道から汀線および駐車場外縁までの沖向き距離の変遷

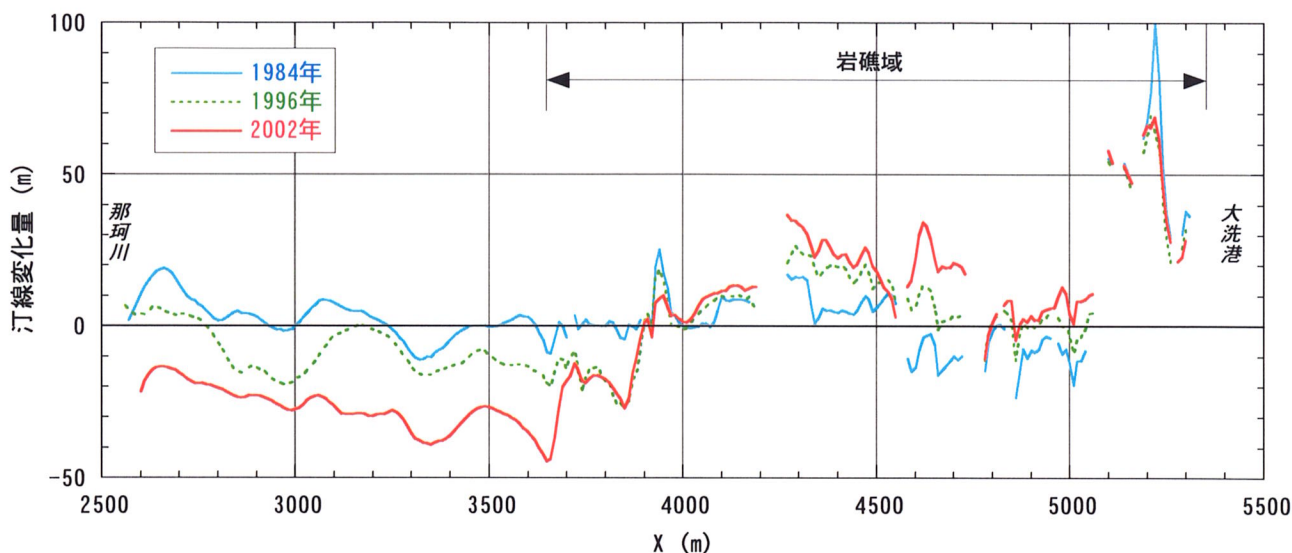


図-18 那珂川河口～大洗港間の汀線変化

線後退が起きたことが分かる。一方沿岸漂砂の下手側の岩礁域では汀線が前進傾向を示す。

図-13に示す鹿島灘に面した神向寺海岸沖の波向観測結果によると、10月7日の低気圧の通過による最大有義波高が発生した6時にはN55° E方向からの波が卓越している。そこでこの波向が大洗近傍でも発生したと考え、2002年の空中写真に示された那珂湊漁港の沖東防波堤による波の回折効果を考えると、図-16(d)に破線で示すように、水族館を防護する護岸南端部は回折波が作用する位置と重なっている。このこともまた駐車場付近が著しい被災を受けたひとつの理由を与えている。

5. 災害原因と今後の対処

空中写真の変遷に示したように、大洗水族館は元々海浜地に造られた。その後水族館は改築され広げられたが、多数の来客を確保するため南側に隣接する海浜地が埋め立てられ駐車場が整備された。駐車場が南側に広げられたのはそこ以外用地がなかったことからやむをえない面があった。一方、この付近の海浜は那珂川からの土砂供給によって発達してきたが、河口の南側隣接部で経年的に侵食が進んできたことは、海浜への唯一の土砂供給源である那珂川の流出土砂量が大きく減少したことを示している。とくに砂丘地を形成するほど潤沢にあった細砂は枯渇状態となった。このようにして脆弱状態となった海浜に異常潮位・異常波浪が作用した。現地踏査によると、施設の被災は駐車場を防護する直立護岸の南端部で最も著しかった。また、被災した護岸より南側では侵食により高さ4mもの浜崖が形成されたが、

浜崖の高さは護岸の端部から南向きに減少し、大洗ゴルフ場下の岩礁帯周辺では収束していた。このことは、砂が南向きの沿岸流によって運び去られたことを意味する。さらに、水族館駐車場の南端部から北東方向に1,300m離れた沖合には那珂湊漁港の外防波堤が1976～1981年に165.9m建設されており、低気圧の襲来時、この外防波堤の端部からの回折波がちょうど駐車場を守る護岸付近に当たる条件になったことも波浪作用の増大を招いたと推定される。

水族館前から流失した砂は南向きの沿岸流によって運ばれ、その多くは大洗港の沖防波堤の裏側に堆積したと推定される。護岸の復旧は必要ではあるが、侵食されて痩せてしまった海浜は波浪災害に対して脆弱性を有するので、那珂川からの流下し、大洗港方面へと流れた土砂をリサイクル利用し、前浜を再度拡幅する案についての検討の必要がある。その場合、投入した砂が直ちに南向きに運び去られないよう、ある程度まで沿岸漂砂を阻止する施設を造った上で養浜を行うことも必要である。被災区域は公園地区であり、景観も保護されなければならないので、景観の保護を行いつつ漂砂の流出を制御する手法が望まれる。このような長期的策を行わずに短期的な対策のみが行われれば、海浜が既に痩せてしまっている以上、再び災害が起こる危険度が高いと考えられる。

参考文献

- 1) Viles, H. A. and Spencer, T.: Coastal Problems, London, Arnold, pp. 350, 1995.
- 2) 茨城県水戸土木事務所:「第一軍管地方二万分一迅速測量図原図」に基づく瀬沼周辺の地形図, 2006.